

## NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT TRUYỀN ĐỘNG CỦA Ô TÔ ĐIỆN KHI SỬ DỤNG HỘP SỐ MỘT CẤP VÀ SỐ TRUYỀN CVT

STUDY ON THE PERFORMANCE EVALUATION OF ELECTRIC VEHICLE DRIVETRAINS USING A SINGLE-SPEED GEARBOX AND CVT TRANSMISSION

Lê Thanh Quang\*, Trương Quang Linh, Lý Vĩnh Đạt, Lê Thanh Phúc, Nguyễn Kim Bảo Hiều  
Khoa Cơ khí Động lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố  
Thủ Đức – Thành phố Hồ Chí Minh

\*Email: quanglt@hcmute.edu.vn

### TÓM TẮT

*Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) được xem là lựa chọn tối ưu trong phát triển ô tô điện (EV) nhờ hiệu suất cao và khả năng vận hành ổn định. Một trong những hạn chế lớn nhất của ô tô điện hiện nay là quãng đường di chuyển hạn chế sau mỗi lần sạc. Để có thể nâng cao hiệu suất vận hành động cơ thì một giải pháp khả thi là sử dụng hộp số được tối ưu hóa phù hợp cho ô tô điện. Hộp số vô cấp (CVT) là một lựa chọn phù hợp ở thời điểm hiện tại nhờ khả năng duy trì hiệu suất vận hành cao trong nhiều điều kiện tốc độ và môi trường khác nhau, đặc biệt gần với vùng làm việc tối ưu của động cơ. Bài viết tập trung mô phỏng và phân tích hiệu suất truyền động của ô tô điện sử dụng hộp số một cấp và hộp số CVT thông qua chu trình lái tiêu chuẩn FTP-75. Nghiên cứu sử dụng MATLAB/Simulink để mô phỏng và so sánh hiệu suất hệ truyền động qua các yếu tố như trạng thái pin, năng lượng, vận tốc, quãng đường, mô-men xoắn và tổn thất trong các điều kiện vận hành khác nhau.*

**Từ khóa:** Hệ thống truyền động; Xe điện; Hộp số vô cấp CVT; FTP-75; MATLAB/Simulink.

### ABSTRACT

*The Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) is considered an optimal choice for the development of electric vehicles (EVs) due to its high efficiency and stable operation. One of the major limitations of EVs today is their restricted driving range after each charge. To improve motor performance, a feasible solution is to employ a gearbox optimized specifically for EVs. The continuously variable transmission (CVT) is a suitable option as it maintains high operational efficiency under various speed and environmental conditions, especially near the motor's optimal working range. This study focuses on simulating and analyzing the drivetrain performance of EVs equipped with single-speed transmission (SST) and CVT using the standard FTP-75 driving cycle. MATLAB/Simulink is employed to model and compare drivetrain performance in terms of battery state, energy efficiency, velocity, driving range, torque, and energy losses under different operating conditions.*

**Keywords:** Transmission system; Electric vehicle; CVT transmission; FTP-75; MATLAB/Simulink.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặc dù hệ truyền động trực tiếp với hộp số một cấp (SST) [1] trên xe điện có cấu tạo đơn giản và hiệu quả trong một số dải tốc độ, nhưng vẫn gặp hạn chế trong việc tối ưu hóa mô-men xoắn và hiệu suất thực tế, đặc biệt khó cân bằng giữa khả năng tăng tốc mạnh ở tốc độ thấp và tiết kiệm năng lượng ở tốc độ cao, gây ảnh hưởng đến hiệu suất và trải nghiệm lái. Hộp số vô cấp (CVT) [2] được xem là giải pháp tối ưu nhờ khả năng thay đổi tỷ số truyền liên tục, giúp động cơ điện hoạt động trong dải hiệu suất cao nhất. Điều này cải thiện khả năng tăng tốc, tiết kiệm năng lượng, kéo dài quãng đường di chuyển và mang lại cảm giác vận hành mượt mà, linh hoạt trong nhiều điều kiện, từ giao thông đô thị đến các cung đường tốc độ cao. Việc ứng dụng CVT không chỉ khắc phục các hạn chế của hệ truyền động thông thường mà còn mở ra tiềm năng phát triển các mẫu xe điện tối ưu hơn, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người dùng, đồng thời thúc đẩy sự phổ biến hóa xe điện tại Việt Nam và trên thế giới.

Nghiên cứu đã đề xuất phương pháp mô phỏng và đánh giá hiệu suất của hộp số một cấp và hộp số CVT trên xe điện bằng chu trình FTP-75 thông qua nền tảng MATLAB Simulink. Trong quá trình nghiên cứu, tác giả đã thực hiện mô phỏng đồng thời hai hệ dẫn động chạy theo chu trình FTP-75 trong cùng một khoảng thời gian, nhằm so sánh và phân tích sự khác biệt về các yếu tố quan trọng như quãng đường di chuyển, vận tốc, trạng thái sạc - xả (SOC) và các thông số hiệu suất khác.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Khái quát về chu trình FTP-75

Chu trình FTP-75 (Federal Test

Procedure 75) [3] là một tiêu chuẩn kiểm tra khí thải và tiêu thụ nhiên liệu dành cho xe ô tô, được thiết kế để mô phỏng các điều kiện lái thực tế trong đô thị. Chu trình bao gồm ba giai đoạn chính: khởi động nguội (Cold Start), vận hành ổn định (Stabilized Phase), và khởi động nóng (Hot Start), với tổng thời gian 1.877 giây, quãng đường 17,77 km, tốc độ trung bình 34,1 km/h và tốc độ tối đa 91,2 km/h. Trong MATLAB/Simulink, chu trình này được mở rộng lên 2.474 giây để tích hợp thêm các giai đoạn bổ sung, như thời gian làm nóng động cơ hoặc thời gian nghỉ giữa các pha, nhằm phục vụ các mục tiêu nghiên cứu hoặc yêu cầu mô phỏng cụ thể. Đây là công cụ quan trọng để đánh giá hiệu suất khí thải và mức tiêu thụ nhiên liệu của xe dưới điều kiện giả lập trong phòng thí nghiệm.

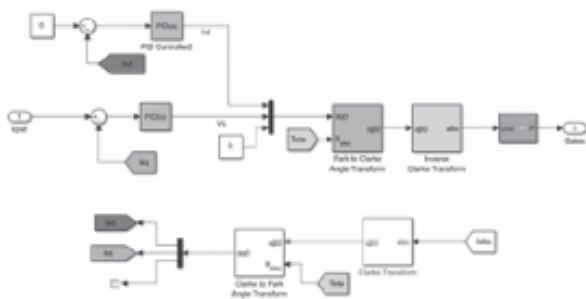
### 2.2. Phương pháp điều khiển FOC

Nguyên lý cơ bản của điều khiển FOC (Field-Oriented Control) [4] là tách biệt và điều khiển độc lập từ thông (flux) và mô-men xoắn (torque) trong hệ tọa độ quay (d-q). Dòng điện ba pha được chuyển đổi sang hệ tọa độ hai pha ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) bằng phép biến đổi Clarke [4], sau đó sang hệ tọa độ (d-q) bằng phép biến đổi Park [4] dựa trên góc rotor. Trong hệ (d-q), thành phần  $i_d$  điều khiển từ thông và  $i_q$  điều khiển mô-men xoắn. Sau khi xử lý, tín hiệu được chuyển ngược về hệ tọa độ ba pha để điều khiển động cơ thông qua biến tần, giúp đạt hiệu suất cao và điều khiển chính xác tương tự động cơ DC.

### 2.3. Mô phỏng phương pháp điều khiển FOC trên MATLAB/Simulink

Dựa trên các bài báo tham khảo, phương pháp điều khiển FOC được mô phỏng trên Simulink.

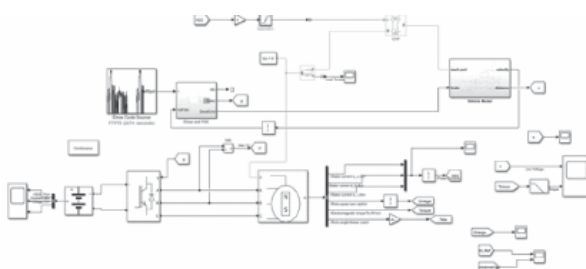




Hình 1. Mô phỏng phương pháp điều khiển FOC

Sơ đồ mô phỏng phương pháp điều khiển FOC (Field-Oriented Control) [5] trên Simulink bao gồm các khối điều khiển dòng  $i_d$  và  $i_q$ , sử dụng các bộ PID để giảm sai lệch giữa giá trị tham chiếu và giá trị thực tế. Tín hiệu điều khiển  $V_d$  và  $V_q$  được chuyển đổi từ hệ tọa độ quay (d-q) sang hệ tọa độ tĩnh ( $\alpha$ - $\beta$ ), sau đó sang hệ ba pha (abc) để điều khiển động cơ qua biến tần. Dòng điện thực tế  $i_{abc}$  của động cơ được đo và chuyển ngược từ hệ ba pha về hệ tọa độ d-q để so sánh với giá trị tham chiếu, đảm bảo điều khiển chính xác từ thông và mô-men xoắn.

## 2.4. Mô hình hóa động cơ PMS tích hợp hộp số CVT trên xe điện bằng MATLAB Simulink [6]



Hình 2. Mô hình hóa động cơ PMS và hộp số CVT chạy trong chu trình FTP-75

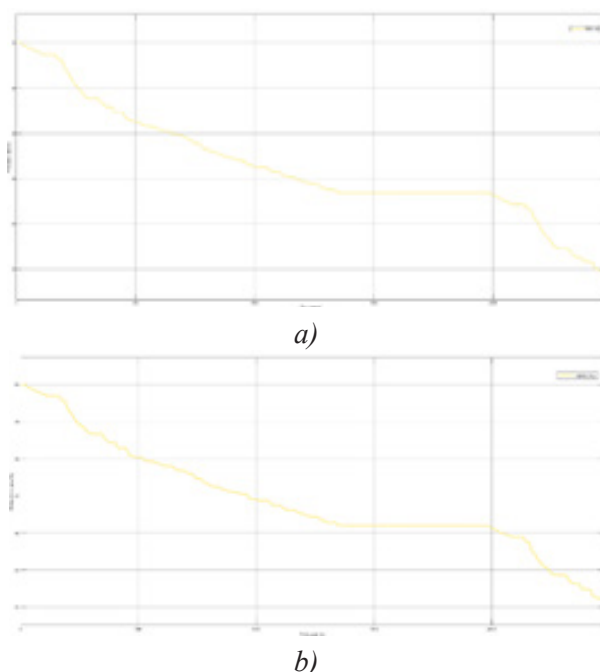
Mô hình mô phỏng trong Simulink thể hiện hệ thống truyền động xe điện tích hợp động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) và hộp số vô cấp (CVT) hoạt động theo chu trình FTP-75. Nguồn tín hiệu từ chu trình FTP-

75 cung cấp vận tốc tham chiếu ( $V_{ref}$ ), được xử lý qua bộ điều khiển (Driver and FOC) để tạo ra lệnh mô-men xoắn ( $T_{cmd}$ ) cho động cơ PMSM. Bộ biến tần (Inverter) chuyển đổi tín hiệu điện áp điều khiển  $V_{abc}$  thành tín hiệu ba pha cấp cho động cơ.

Động cơ PMSM, với đầu ra là mô-men xoắn  $T_e$  và tốc độ rotor  $\omega_m$ , kết nối với hộp số CVT, nơi tỷ số truyền được điều chỉnh liên tục dựa trên tín hiệu từ lệnh ga (ACC). Hộp số CVT truyền tải mô-men đến hệ thống xe (Vehicle Model), nơi các lực cản và gia tốc được tính toán, đồng thời phản hồi vận tốc thực tế (VelFdbk) về khối điều khiển. Ngoài ra, hệ thống pin cung cấp năng lượng cho động cơ và giám sát trạng thái sạc (SOC), dòng điện, và điện áp.

## 3. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

### 3.1. Tình trạng năng lượng pin (SOC)

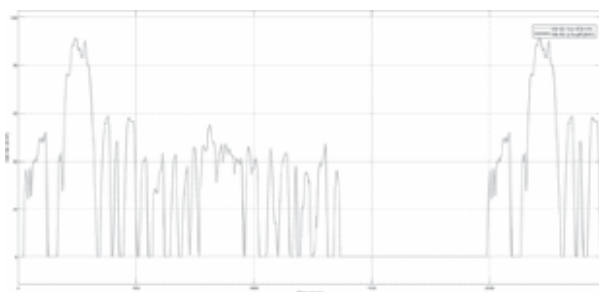


Hình 3. Trạng thái sạc - xả (SOC) dùng hộp số CVT (a), hộp số STT (b)

Trong 500s đầu tiên, SOC của hộp số một cấp giảm 3,6% (từ 50% xuống 46,4%) trong khi đó hộp số CVT chỉ giảm 1,9% (từ 50% xuống 48,1%). Từ 500s – 1372s, hộp số SST tiếp tục giảm hơn 3% cao hơn mức giảm 1,7% của hộp số CVT, khẳng định mức tiêu hao năng lượng ít hơn của hộp số CVT. Trong giai đoạn 1372s – 1877s, cả hai loại hộp số không tiêu hao năng lượng, cho thấy xe ở trạng thái nghỉ. Từ 1877s – 2474s, hộp số vô cấp có mức tiêu hao năng lượng khoảng 2% (từ 46,4% xuống 44,4%) và hộp số một cấp tiêu thụ khoảng 4,4% (từ 43,4% xuống 39%). Xét thấy hộp số SST tiêu tốn năng lượng gấp đôi so với hộp số CVT khi chạy hết chu trình (11% so với 5,6%).

### 3.2. Vận tốc

Dưới cùng điều kiện đầu vào và vận hành trên chu trình lái FTP-75, các đồ thị vận tốc trong hai trường hợp cho thấy sự tương đồng đáng kể. Cả vận tốc thực tế và vận tốc lý thuyết đều dao động trong một phạm vi nhất định (0-100 km/h), với các pha tăng tốc và giảm tốc rõ ràng, phù hợp với đặc điểm của chu trình FTP-75.



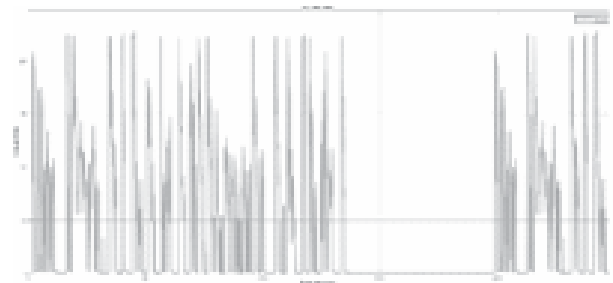
Hình 5. Vận tốc khi chạy hết chu trình FTP-75

Tuy nhiên, vận tốc thực tế thường có độ trễ nhỏ so với vận tốc lý thuyết tại một số thời điểm tăng tốc và giảm tốc. Sự khác biệt này đôi khi trở nên rõ rệt, đặc biệt trong các giai đoạn thay đổi vận tốc đột ngột. Trong khi vận tốc

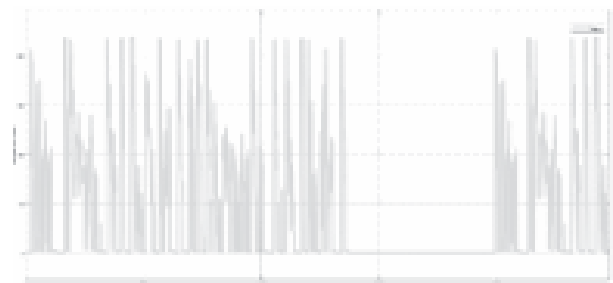
lý thuyết thể hiện sự ổn định và mượt mà, vận tốc thực tế xuất hiện nhiều và dao động nhẹ, có thể do các yếu tố thực tế như ma sát, thay đổi tải trọng, hoặc đặc tính động lực học của hệ truyền động. Cả hai trường hợp đều đạt tốc độ tối đa khoảng 100 km/h, nhưng vận tốc thực tế thường chậm hơn một chút so với vận tốc lý thuyết tại các điểm đỉnh.

### 3.3. Mô-men xoắn

Hộp số CVT không chỉ tối ưu hóa hiệu suất động cơ mà còn cải thiện đáng kể khả năng thích nghi với các điều kiện vận hành khắc nghiệt, vượt trội so với hệ dẫn động điện truyền thống vốn chỉ phù hợp với các điều kiện tải ổn định.



a)



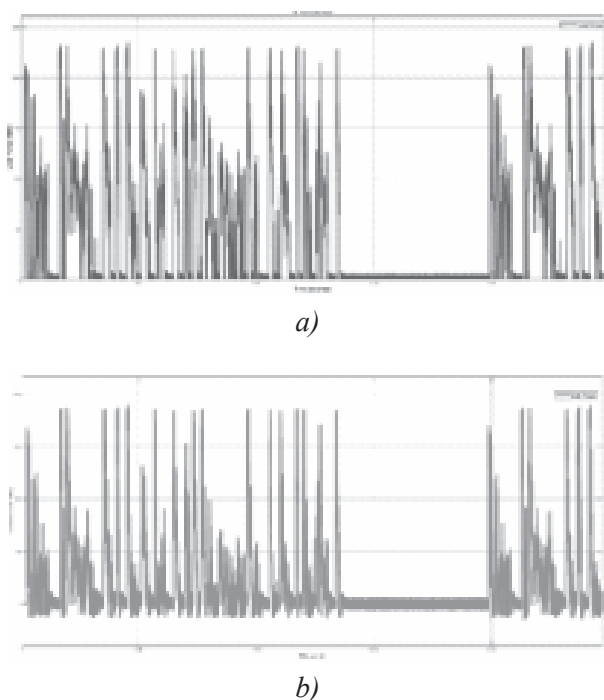
b)

Hình 6. Mô-men xoắn hộp số CVT (a) và hộp số SST (b)

Đồ thị mô-men xoắn cho thấy hộp số CVT vượt trội về khả năng phản hồi và tối ưu hóa lực kéo so với hệ dẫn động điện truyền thống trong chu trình FTP-75. Mô-men xoắn

của hệ thống CVT dao động nhanh và mạnh mẽ, đạt giá trị tối đa xấp xỉ 230 Nm trong các pha tăng tốc, cho thấy khả năng điều chỉnh tỷ số truyền liên tục giúp động cơ hoạt động hiệu quả hơn, đặc biệt trong các điều kiện thay đổi tải liên tục. Ngược lại, hệ dẫn động điện truyền thống thể hiện sự kém linh hoạt hơn, với các dao động mô-men xoắn nhỏ và phản ứng chậm hơn, đặc biệt ở các giai đoạn tăng tốc hoặc giảm tốc đột ngột. Đồ thị cũng chỉ ra rằng hệ thống này thiếu khả năng duy trì lực kéo hiệu quả khi đối mặt với các yêu cầu vận hành thay đổi nhanh chóng.

## 3.4. Tải mô-men xoắn



Hình 7. Tải mô-men xoắn hộp số CVT (a), hộp số SST

Hộp số CVT vượt trội với biên độ dao động tải mô-men xoắn cao (tối đa 250 Nm) và tần suất dao động nhanh, thể hiện khả năng đáp ứng linh hoạt và hiệu quả với các thay đổi lực kéo, đặc biệt trong các pha tăng tốc nhanh. Ngược lại, hộp số một cấp ổn định hơn với biên

độ dao động thấp (khoảng gần 200 Nm), nhưng phản ứng chậm với tải đột ngột, hạn chế hiệu suất trong điều kiện vận hành phức tạp. Điều này khẳng định CVT là giải pháp tối ưu cho các ứng dụng yêu cầu hiệu suất cao và linh hoạt.

## 4. KẾT LUẬN

Trong cùng chu trình FTP-75, hộp số CVT tiêu hao năng lượng ít hơn đáng kể, với mức tiêu hao giảm một nửa so với hộp số một cấp (5,6% so với 11%), nhờ khả năng duy trì động cơ trong dải hiệu suất cao. Khả năng tăng tốc của CVT cũng vượt trội hơn nhờ tỷ số truyền thay đổi liên tục, giúp duy trì lực kéo ổn định ngay cả trong điều kiện vận hành khắc nghiệt, trong khi hộp số một cấp gặp khó khăn trong việc duy trì lực kéo tối ưu. Độ mượt mà khi vận hành của CVT cũng được đánh giá cao hơn, với khả năng điều chỉnh liên tục giúp giảm nhiễu và dao động trong quá trình chuyển tiếp giữa các pha tăng tốc và giảm tốc. Kết quả nghiên cứu khẳng định hộp số CVT cải thiện hiệu suất động cơ, mở rộng phạm vi hoạt động nhờ tiết kiệm năng lượng và đáp ứng tốt hơn nhu cầu vận hành linh hoạt, vượt trội so với hộp số một cấp vốn chỉ phù hợp với điều kiện tải ổn định. ❖

Ngày nhận bài: 20/12/2024

Ngày phản biện: 09/01/2025

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Wuling EV Vietnam, “What is an Electric Vehicle Gearbox? Why Does The Gearbox Only Have One P Gear? Single Speed Transmission”. Wuling EV Vietnam Website, May 1, 2024. Available: <https://wuling-ev.vn/en/electric-vehicle-gearbox>.
- [2]. Advanced Transmission Center, “What is an CVT? Understanding Continuously Variable Transmissions”. Advanced Transmission



- Center Website. Available: <https://advancedtransmission.com/what-is-a-cvt/>.
- [3]. DieselNet, “FTP-75: Emission Test Cycles”. Accessed December 13, 2024. Available: <https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>.
- [4]. Ali Abdul Razzaq Altahir, “Park and Clark Transformations: A short review”. Electrical and Electronic Engineering Dept., University of Kerbala, Karbala, 56001, Iraq, Presentation April, 2020.
- [5]. F. Amin, E. B. Sulaiman, W. M. Utomo, H. A. Soomro, M. Jenal, and R. Kumar, “Modelling and Simulation of Field Oriented Control based Permanent Magnet Synchronous Motor Drive System”. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 6, no. 2, pp. 387-395, May 2017.
- [6]. Ashwini Kumar, Aparna Chandeka, P.W. Deshmukh, R.T. Ugale, “Development of electric vehicle with permanent magnet synchronous motor and its analysis with drive cycles in MATLAB/Simulink”. Science Direct, vol 72 part 3, pp 643-651, January 2023.